

# ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕВЫХ ПРОТОКОЛОВ ПО ИНТЕГРИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ UA-ITT

**П.П. Воробийенко**

Доктор технических наук, профессор, ректор\*\*

Контактный тел.: (048) 723-22-44

E-mail: vorobiyenko@onat.edu.ua

**В.И. Тихонов**

Кандидат технических наук, доцент, докторант\*

Контактный тел.: (048) 720-79-13

E-mail: victor.tykhonov@onat.edu.ua

**Е.В. Тихонова**

Аспирант\*

Контактный тел.: (048) 720-79-13

E-mail: elena.tykhonova@onat.edu.ua

\*Кафедра «Сети связи»\*\*

\*\*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова  
ул. Кузнечная, 1, г. Одесса, 65029

*Розглядаються базові принципи побудови мережних протоколів за інтегрованою технологією телекомунікацій UA-ITT з новою моделлю взаємодії відкритих систем. Запропонований підхід може бути використаний у мережах майбутніх поколінь*

*Ключові слова: модель взаємодії відкритих систем, мережний протокол*

*Рассматриваются базовые принципы построения сетевых протоколов по интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ITT с новой моделью взаимодействия открытых систем. Предложенный подход может быть использован в сетях будущих поколений*

*Ключевые слова: модель взаимодействия открытых систем, сетевой протокол*

*The basic principles of network protocols design studied for integrated telecommunication technology UA-ITT with a new open system interconnection model. The given approach might be utilized in future generation networks*

*Key words: open system interconnection model, network protocol*

## Введение

Одной из важных задач в области телекоммуникаций является конвергенция сетей и разработка стандартов применительно к сетям будущих поколений с учетом накопленного опыта эксплуатации существующих сетей и новых возросших требований к обеспечению качества сервиса в различных приложениях, в т.ч. при передаче трафика реального времени [1]. Известные подходы к построению конвергентных сетей NGN преимущественно ориентированы на использование интернет протокола IP для межсетевого взаимодействия [2-3]. Это обеспечивает совместимость существующих приложений и операционных систем с новыми технологическими разработками. Наряду с несомненными достоинствами, конвергенция сетей на основе межсетевого взаимодействия по IP протоколу имеет свои слабые стороны [4]. Интернет протокол IP изначально был создан для пакетной передачи сообщений и файлов в приложениях, не критичных к задержкам времени. Этот протокол в своей основе не приспособлен к передаче голосового и видео трафика. По этой причине для передачи трафика реального времени по IP сетям разрабатываются дополнительные протоколы, которые образуют многоуровневую схему инкапсуляции протоколов разных уровней [5].

Организация взаимодействия множества протоколов разных уровней является серьезной проблемой современных и перспективных телекоммуникационных сетей. В работе [6] представлена общая концепция интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ITT, в которой излагается новый подход к организации межсетевого взаимодействия и передаче разных типов трафика в сетях NGN с учетом высоких требований качества обслуживания.

Целью данной статьи является обоснование принципов построения сетевых протоколов по интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ITT применительно к сетям будущих поколений.

Интегрированная технология телекоммуникаций UA-ITT (Ukraine Integrated Telecommunication Technology) разработана в ОНАС им. А.С.Попова и защищена шестью патентами Украины [7-12]. Эта технология ориентирована на применение в сетях более отдаленных будущих поколений, которые сейчас находятся в стадии научного исследования и предварительного технико-экономического обоснования [13].

В технологии UA-ITT предложен новый способ построения сетевых протоколов, который обеспечивает передачу различных типов данных в режимах с установлением и без установления соединения, и при этом не требует маршрутизации отдельных сегментов одного и того же сообщения. Кроме того, этот

способ исключает присущую IP-сетям многоуровневую инкапсуляцию протокольных единиц данных при передаче трафика реального времени. Это повышает быстродействие маршрутизаторов, уменьшает загрузку сети служебным трафиком и стоимость единицы передаваемой информации.

*Главный принцип* построения сетевых протоколов по технологии UA-ITT заключается в использовании многоцелевого сетевого мета-протокола MNP (Multipurpose Network meta-Protocol) в качестве структурного шаблона, который определяет общие функциональные особенности конкретных сетевых протоколов. При этом на базе одного мета-протокола MNP создаются и параллельно используются множество разно-профильных сетевых протоколов под конкретный класс задач. Применение MNP обеспечивает последовательную смену поколений сетевых протоколов в течение длительного периода эксплуатации технологии UA-ITT без изменения ее базовых основ. При этом жизненный цикл технологии продлевается, что повышает экономический эффект от ее внедрения.

Рассмотрим особенности многоцелевого мета-протокола MNP. Протокол MNP использует трехуровневую модель взаимодействия открытых систем (ITT), предложенную в [6]. На рис.1 приведена сравнительная диаграмма моделей ITT, OSI и TCP/IP. Модель ITT предполагает разделение инфо-коммуникационной сети на транспортную подсистему, или опорную сеть (нижние два уровня ITT), и уровень информационных приложений. Технология UA-ITT затрагивает нижние два уровня модели ITT, рис. 1.

Нижний (первый) уровень модели ITT назван уровнем физического соединения (Physical Link Layer – PLL). Средний (второй) уровень модели ITT назван транспортно-сетевым уровнем (Network Transport Layer – NTL), рис. 1.

Протокол MNP описывает взаимодействие между нижним уровнем модели ITT (уровнем физического соединения PLL) и средним уровнем модели ITT (транспортно-сетевым уровнем NTL).

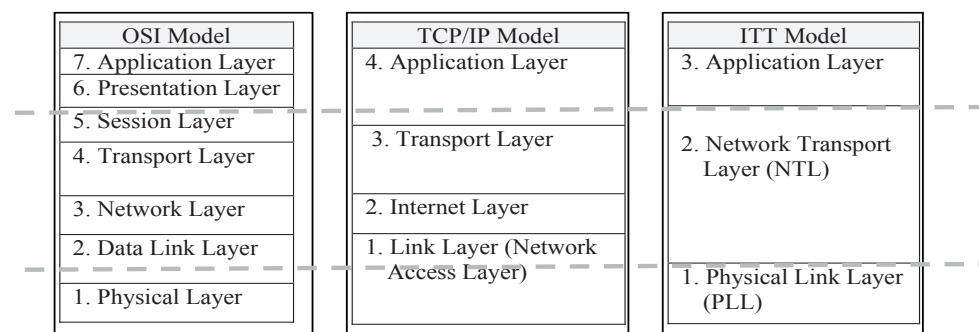


Рис. 1. Сравнительная диаграмма моделей взаимодействия открытых систем

Уровень физического соединения PLL модели ITT регламентирует конструктивно-технические и технологические особенности физического интерфейса для пары сетевых адаптеров UA-ITT, взаимодействующих между собой через посредство физической линии связи. Основным типом проводного физического соединения в технологии UA-ITT является волоконно-оптическая линия связи с волновым уплотнением WDM или

DWDM; беспроводные соединения в технологии UA-ITT ориентированы на использование стандартов 4G.

Основными понятиями уровня PLL в модели ITT являются:

- а) последовательный тракт передачи (Sequent Transmission Trunk – STT);
- б) байт данных полезной нагрузки (Data Byte – DB);
- в) командный байт служебной нагрузки (Control Byte – CB);
- г) управляющий цифровой поток (Control Digital Stream – CDS);
- д) цифровой поток данных (Data Digital Stream – DDS);
- е) цифровой поток в тракте передачи (Trunk Digital Stream – TDS).

Применительно к технологии WDM и DWDM, последовательный тракт STT понимается как отдельный волновой канал в составе одного волокна, являющегося элементом волоконно-оптического кабеля, соединяющего пару сетевых адаптеров. Такой волновой канал имеет пропускную способность около 10 Гбит/с [15]. Для беспроводных технологий последовательный тракт STT эквивалентен понятию «последовательный канал передачи данных» с доступной пропускной способностью.

В качестве протокольной единицы данных (Protocol Data Unit – PDU) нижнего уровня в модели ITT (уровня PLL) выбран один байт, который в зависимости от конфигурации протокола MNP может содержать от 4 и более бит. В частности, PDU-байт может иметь размер 8 бит (PDU-октет). С помощью специального бита все байты на уровне PLL маркируются одним из двух указанных выше типов: командный байт CB и байт данных DB.

На рис. 2. показана структура TDS на уровне физического соединения (PLL) модели ITT. Последовательность байт CB и DB назовем цифровым потоком тракта передачи TDS. Под-последовательность CB-байт в составе потока TDS назовем управляющим

цифровым потоком (Control Digital Stream – CDS), а под-последовательность DB-байт назовем цифровым потоком данных (Data Digital Stream – DDS).

Уровень PLL передает вышележащему уровню модели ITT цифровой поток, разделенный на две составляющие: управляющий цифровой поток CDS и цифровой поток данных DDS, рис. 2. Циф-

ровой поток TDS в тракте передачи STT является непрерывным. В случае возникновения пауз в передаче полезной информации или служебных данных, возникающие «пробелы» заполняются специальными командными байтами (Padding CB, или PCB), которые поддерживают физическую и логическую синхронизацию приемо-передающих устройств на двух концах одного отрезка физической линии связи.

Протокол MNP также определяет интерпретацию цифрового потока в тракте передачи (TDS), передаваемого с выхода нижнего уровня (PLL) на вход транспортно-сетевого уровня (NTL).

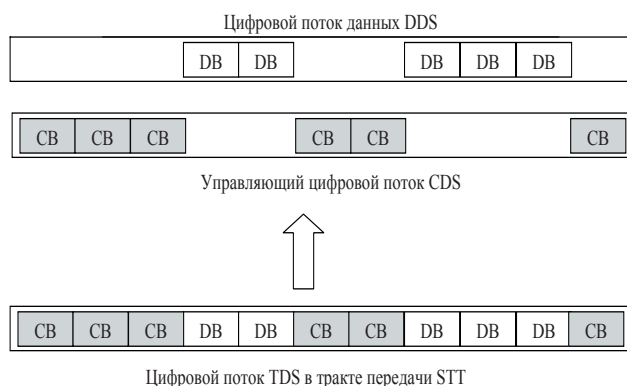


Рис. 2. Структура цифрового потока TDS в модели ITT

Согласно MNP, основными понятиями транспортно-сетевого уровня NTL в модели ITT являются:

- командный сегмент (Command Segment – CS);
- сегмент данных (Data Segment – DS);
- поток командных сегментов (Command Segment Flow – CSF);
- поток сегментов данных (Data Segment Flow – DSF);
- статистически мультиплексированный поток (Statistically Multiplexed Flow – SMF);
- случайный прикладной поток (Stochastic Application Flow – SAF);

Командный сегмент CS – это непрерывная последовательность CB-байт управляющего цифрового потока CDS в последовательном тракте передачи STT. Последовательность PCB-байт считается сегментом псевдокоманды заполнения пауз (Padding CS, или PCS).

Сегмент данных DS – это непрерывная последовательность DB-байт цифрового потока данных DDS.

На уровне NTL модели ITT цифровой поток в тракте передачи рассматривается как случайная последовательность сегментов команд и сегментов данных.

Случайную под-последовательность командных сегментов CS назовем потоком командных сегментов CSF.

Случайную под-последовательность сегментов данных DS назовем потоком сегментов данных DSF.

Случайную под-последовательность командных сегментов CS и/или сегментов данных DS, которые принадлежат одному сообщению или прикладному процессу, назовем случайным прикладным потоком SAF.

Случайную последовательность отдельных прикладных потоков SAF в последовательном тракте передачи STT назовем статистически мультиплексированным потоком SMF.

На рис. 3 изображена структура статистически мультиплексированного потока SMF, в котором присутствуют три прикладных потока: SAF-1, SAF-2 и SAF-3. Промежутки передачи команд и данных изображены в потоке SMF белыми прямоугольниками (которые обозначают сегменты типа PCB).

Минимальная длина одного командного сегмента CS или сегмента данных DS равна одному байту, а максимальная длина не ограничена. Для распознавания

команд различной длины в протоколе MNP предусмотрена специальная схема построения команд. Рассмотрим эту схему на примере PDU-байта длиной в 8 бит (т.е. PDU-октета). Общее количество возможных значений октета равно 256. Протокол MNP предусматривает подсчет номера командного байта в составе каждого сегмента команды с помощью специального счетчика командных байт (Command Byte Counter – CBC). При поступлении любого сегмента данных, а также байта PCB, счетчик CBC сбрасывается в ноль, а каждый очередной байт команды, отличный от PCB, увеличивает показания счетчика CBC на единицу.

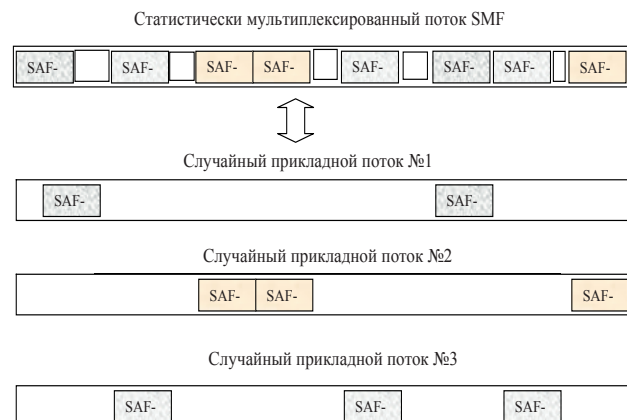


Рис. 3. Структура статистически мультиплексированного потока SMF

Согласно протоколу MNP, половина всех возможных значений первого октета команды (т.е. 128 из 256 значений в диапазоне от 0 до 127) интерпретируются как однобайтовый код команды. Максимальное число таких кодов, очевидно, равно 128. Следующие 64 значения первого октета команды (от 128 до 191) интерпретируются как двухбайтный код команды, в которой первый байт имеет 64 возможных значений, а второй байт – 256 возможных значений. Общее количество возможных двухбайтовых кодов команд, очевидно, равно  $64 \cdot 256 = 16'384$ . Очередные 32 значения первого байта команды (от 192 до 223) интерпретируются как трехбайтный код команды. Общее количество возможных трехбайтовых кодов команд, очевидно, равно  $32 \cdot 256 \cdot 256 = 2'097'152$  команд. Наконец, шестнадцать значений первого байта команды (от 224 до 239) интерпретируются как четырехбайтовый код команды. Их возможное количество составляет  $16 \cdot 256 \cdot 256 \cdot 256 = 268'435'456$ . Последние 16 значений первого октета команды (от 240 до 255) зарезервированы для специальных целей. Согласно протоколу MNP, каждый сегмент команды содержит код команды длиной от 1 до 4 байт, а также возможно, операнды команды. Количество и состав операндов, а также их длина зависят от конкретного кода команды, который зарегистрирован в рамках транспортно-сетевого уровня NTL модели ITT. Протокол MNP также описывает общие спецификации способов кодирования протокольных единиц данных нижнего уровня в модели ITT (т.е. PDU-байт).

Представленная на рис. 3 структура статистически мультиплексированного потока SMF, а также описанные выше соглашения о способе распознавания кода

команд и операндов, определяют принятый в технологии UA-ITT структурный шаблон (или фрейм), который лежит в основе создания каждого прикладного сетевого протокола. Количество возможных прикладных сетевых протоколов в технологии UA-ITT практически неограниченно, поскольку протоколом MNP предусмотрен специальный механизм переключения идентификатора текущего прикладного протокола, по которому происходит обработка информации на транспортно-сетевом уровне NTL.

Один из принципов построения прикладных сетевых протоколов в технологии UA-ITT – рациональное использование общего множества возможных кодов команды с целью минимизации служебного трафика. Он заключается в том, что для наиболее часто используемых команд применяются коды команд и команды минимальной длины. В частности, специфичным приложением реального времени является голосовой трафик, в котором случайным образом перемешаны многие голосовые потоки. Для данного типа трафика разработана схема использования пространства кодов команд.

Половина из 128 рассмотренных выше восьмибитовых кодов команд (от 64 до 127) используются в качестве коротких однобайтовых команд коммутации потоков без операндов. А именно, коды первого байта в диапазоне от 64 до 127 интерпретируются как однобайтовая команда коммутации потока в режиме с установлением соединения. При этом идентификатор потока соответственно изменяется в диапазоне от 1 до 64.

Шестнадцать кодов первого октета команды со значениями от 48 до 63 интерпретируются как однобайтовый код команды коммутации потока в режиме с установлением соединения. Данная команда имеет операнд длиной в 1 байт. В зависимости от кода команды и значения байта операнда, идентификатор потока принимает одно из  $16 \cdot 256 = 4096$  возможных значений.

Восемь кодов первого октета в диапазоне от 40 до 47 интерпретируются как однобайтовая команда коммутации потока в режиме с установлением соединения. Данная команда имеет операнд длиной в 2 байта. В зависимости от кода команды и значения двух байт операнда, идентификатор потока принимает одно из  $8 \cdot 256 \cdot 256 = 1'048'576$  возможных значений.

Таким образом, обеспечивается коммутация достаточно большого числа (более миллиона) статистически мультиплексированных потоков SMF в одном последовательном тракте передачи STT с помощью команд, длина которых не превышает 3 байт. Команды коммутации однозначно определяют значение идентификатора коммутируемого информационного потока.

Рассмотрим принципы построения сетевого протокола передачи данных без установления соединения (Connectionless Transfer Protocol – CLTP). В технологии UA-ITT нет жестких требований к оформлению отдельных сегментов данных (таких, как IP-пакеты, UDP-сегменты и др.). При этом отсутствуют регламентированные заголовки протокольных единиц данных.

Служебная информация, необходимая для обработки данных, передается с помощью командных сегментов CS (например, команда «адрес получателя», «тип сервиса», «контрольная сумма» и др.). Каждая команда, будучи воспринята драйвером транспортно-сетевого уровня, модифицирует соответствующие

поля в специальной таблице управления информационными потоками (Flow Control Table – FCT).

Для того чтобы сегмент данных DS был обработан корректно, необходимо, чтобы к моменту его поступления в таблице управления потоками FCT была вся необходимая служебная информация. Каждый сегмент данных DS одного случайного прикладного потока SAF обрабатывается согласно текущему состоянию таблицы управления FCT. Поэтому непрерывная серия сегментов данных DS одного потока SAF может передаваться без многократного повторения одних и тех же служебных параметров (как это происходит, например, при передаче пакетов в IP-сетях).

Режим без установления соединения обычно применяется для передачи трафика, не критичного к кратковременным задержкам и вариациям задержки (например, файлов данных). В этом режиме могут использоваться различные по составу и количеству наборы управляющих параметров. Поэтому для режима без установления соединения будем использовать двухбайтовый код команды. Как показано выше, максимально возможное число двухбайтовых кодов команд в технологии UA-ITT составляет  $16'384$ , что позволяет строить большое многообразие различных типов команд управления передачей без установления соединения. Например, построим команду с двухбайтным кодом «128.1». Поставим в соответствие этой команде полный набор всех параметров, которые передаются в составе заголовка стандартного IP-пакета в протоколе версии IPv4 (20 байт). Мы получили команду длиной 22 байта, которая эмулирует передачу IP-пакетов, и может быть использована для стыковки сетей по технологии UA-ITT с IP-сетями. Однако в отличие от протокола IPv4, сегмент данной команды передается только в том случае, если на вход драйвера уровня NTL поступает одиночный сегмент информационного потока.

При передаче больших файлов сегменты одного прикладного потока часто образуют непрерывные серии (явление «пачечности»). В такой ситуации управляющие параметры передаются только для первого сегмента каждой серии. В [6] приведены некоторые примеры команд управления для различных типов приложений.

---

## Выводы

---

Изложенные принципы построения сетевых протоколов ориентированы на применение в сетях более отдаленных будущих поколений, которые находятся в стадии научных исследований. В отличие от известных подходов, сетевые протоколы технологии UA-ITT строятся на трехуровневой модели взаимодействия открытых систем (модель ITT), в которой функции управления прикладными информационными процессами отделены от функции транспорта цифровой информации по телекоммуникационной сети.

Сетевые протоколы, реализующие транспортную функцию телекоммуникационной сети, действуют на нижних двух уровнях модели ITT. Первый нижний уровень (уровень физического соединения) описывает передачу байт-ориентированных протокольных единиц данных двух типов (байт команд и байт данных) между двумя смежными узлами опорной сети. Второй уровень (транспортно-сетевой



уровень) описує передачу сегментів двох типів (командних сегментів і сегментів даних) між двома произвольними вузлами опорної мережі. Доставка інформації від вузла опорної мережі UA-ІТТ до термінальному мережевому пристрою складає окрему функцію технології UA-ІТТ, яка в даній статті не розглядається.

В основі побудови прикладних мережних протоколів технології UA-ІТТ лежить використання багатоцільового мета-протоколу MNP, який визначає загальний шаблон протоколів. Цей шаблон є достатньо універсальним і дозволяє створювати велике різноманітність конкретних профілів протоколів, що забезпечує живучість і адаптивність технології UA-ІТТ в цілому.

Протокол MNP регламентує способи взаємодії двох нижніх рівнів моделі ІТТ. При цьому службова інформація передається окремими

сегментами команд, а не заголовками сегментів. Протокол MNP визначає спосіб побудови кодів команд і самих команд. Команди можуть мати довжину від 1 байта і вище. Загальне число можливих команд складає більше двохсот мільйонів, а їх велике різноманітність забезпечує гнучкість технології UA-ІТТ. Принципи побудови прикладних мережних протоколів в межах загального шаблону викладені на прикладі двох характерних типів трафіка (голосовий трафік в режимі з встановленням з'єднання і передача фреймів даних в режимі без встановлення з'єднання).

Викладені принципи дозволяють створювати різні профілі протоколу MNP в вигляді прикладних мережних протоколів. Мережні протоколи технології UA-ІТТ призначені для використання в мережах майбутніх поколінь, які є альтернативами існуючим і перспективним ІР-мережам.

## Література

1. Бабін, А. І. Принципи взаємодоповнюючого розвитку (конвергенції) мереж мобільної і фіксованої зв'язі майбутнього [Текст] / А. І. Бабін // Сучасні наукоємні технології. - 2008. - № 5. - С. 56-59.
2. Understanding MPLS-TP and Its Benefits [Electronic resource] / Cisco White Paper. - Available : \www/ URL: [http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk436/tk428/white\\_paper\\_c11-562013.pdf](http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk436/tk428/white_paper_c11-562013.pdf).
3. 802.1Qay - Provider Backbone Bridge Traffic Engineering [Electronic resource] / IEEE 802.1 Working Group. - Available : \www/ URL: <http://www.ieee802.org/1/pages/802.1ay.html>.
4. Проблеми взаємодії операційних систем в гетерогенних мережах [Електронний ресурс] / Н. А. Олифер, В. Г. Олифер, Центр Інформаційних Технологій. - Режим доступу : \www/ URL: [http://citforum.ru/operating\\_systems/sos/glava\\_16.shtml](http://citforum.ru/operating_systems/sos/glava_16.shtml). - Загл. з екрана.
5. Технології і рішення псевдопроводного доступу в транспортних платформах телекомунікацій [Електронний ресурс] / VIXETT. - Режим доступу : \www/ URL: [http://www.vixett.com/article/view/Telecom\\_Pseudo\\_Wire.html](http://www.vixett.com/article/view/Telecom_Pseudo_Wire.html). - Загл. з екрана.
6. Воробієнко П. П., Тіхонов В. І. Концепція мережної інтеграції за технології UA-ІТТ [Текст] : матеріали 64 науково-технічної конф. проф. викл. складу, науковців, аспірантів та студентів ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2 грудня 2009 р. Одеса. - Одеса : ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2009. - С. 45-52.
7. Спосіб розподіленої інкапсуляції пакетів у телекомунікаційних мережах [Текст] : пат. 46188 Україна: МПК Н 04 L 12/28 / Воробієнко П. П., Тіхонов В. І. ; заявник та власник патенту Одеська нац. Академія зв'язку ім. О.С.Попова. - у 2009 06517 ; заявл. 22.06.2009 ; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23.
8. Спосіб адаптивної адресації вузлів телекомунікаційних мереж [Текст] : пат. 46477 Україна: МПК Н 04 L 12/28 / Воробієнко П. П., Тіхонов В. І. ; заявник та власник патенту Одеська нац. Академія зв'язку ім. О.С.Попова. - у 2009 06513 ; заявл. 22.06.2009 ; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.
9. Спосіб адаптивної пакетної комутації в телекомунікаційних мережах [Текст] : пат. 46761 Україна: МПК Н 04 L 12/28 / Воробієнко П. П., Тіхонов В. І. ; заявники та власники патенту Воробієнко П. П., Тіхонов В. І. - у 2009 05192 ; заявл. 25.05.2009 ; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1.
10. Спосіб побудови телекомунікаційних мереж з динамічною адресацією вузлів [Текст] : пат. 46762 Україна: МПК Н 04 L 12/28 / Воробієнко П. П., Тіхонов В. І. ; заявники та власники патенту Воробієнко П. П., Тіхонов В. І. - у 2009 05194 ; заявл. 25.05.2009 ; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1.
11. Спосіб динамічної комутації потоків в телекомунікаційних мережах [Текст] : пат. 56395 Україна: МПК Н 04 L 12/28 / Воробієнко П. П., Тіхонов В. І. ; заявники та власники патенту Воробієнко П. П., Тіхонов В. І. - у 2010 08597 ; заявл. 09.07.2010 ; опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1.
12. Спосіб кодування якості сервісу в телекомунікаційних мережах [Текст] : пат. 56774 Україна: МПК Н 04 L 12/28 / Воробієнко П. П., Тіхонов В. І. ; заявник та власник патенту Одеська нац. Академія зв'язку ім. О.С.Попова. - у 2010 08668 ; заявл. 12.07.2010 ; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.
13. Воробієнко П. П., Каптур В. А., Тіхонов В. І. Принципи побудови адаптивного мережного протоколу за технологією UA-ІТТ [Текст] : матеріали 65 науково-технічної конф. проф. викл. складу, науковців, аспірантів та студентів ОНАЗ ім. О.С.Попова, 7 грудня 2010 р. Одеса. - Одеса : ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2010. - С. 5-9.
15. Типові рішення по ущільненню оптичних мереж зв'язі з використанням технології CWDM [Електронний ресурс] / DEPS. - Режим доступу : \www/ URL: <http://deps.ua/tehnicheskaya-informatsiya/primeryi-tehnicheskikh-resheniy/tipovyye-resheniya-po-uplotneniyu-opticheskikh-setey-svyazi-s-ispolzovaniem-tehnologii-cwmd-2.html> - 08.01.2008 г. - Загл. з екрана.